



МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЗАДЕРЖКИ НА ОБРАБОТКУ БАЗОВЫХ КАДРОВ ВИДЕОПОТОКА ДЛЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

БАРАННИК В.В., ОТМАН ШАДИ О.Ю.,
СТАСЕВ С.Ю., МУСИЕНКО А.П.

Показывается актуальность вопросов, связанных с повышением качества предоставления видеoinформационных услуг с использованием инфокоммуникационных технологий. Обосновывается необходимость совершенствования технологий кодирования видеопотока. Строится метод оценки алгоритмической сложности для метода обработки базовых кадров на основе диагонально-неравномерного позиционного кодирования трансформант в неравновесном базисе оснований. Показывается, что сложность алгоритмической реализации разработанного метода сжатия базовых кадров находится в линейной зависимости от размера кадра и в основном определяется количеством операций на выполнение двумерного косинусного преобразования.

Ключевые слова: кодирование видеопотока, сжатие базовых кадров, диагонально-неравномерное позиционное кодирование.

Введение

Повышение качества видеосервиса является неотъемлемым требованием развития современных информационных технологий [1]. Здесь подразумевается как использование более производительных сетей передачи данных, так и интеграция новых технологий кодирования видеопотока [2 – 4]. Создание таких методов, направленных на снижение интенсивности видеопотока и сокращение задержки на его обработку, формирует актуальную область научных и прикладных исследовательских задач.

Одним из перспективных методов кодирования потока является метод компрессии базовых кадров на основе диагонально-неравномерного позиционного кодирования трансформант. При этом недостаточное внимание было уделено оценке задержек на обработку кадров. В то же время задержка на обработку формирует суммарную составляющую сквозной задержки по доставке видеoinформации и влияет на интенсивность компактно-представленного видеопотока. Поэтому *цель исследований* состоит в разработке соответствующего метода для оценки задержки на обработку базовых кадров.

Отличительные этапы метода кодирования базовых кадров

Базовые кадры обрабатываются с использованием методов на JPEG совместимой платформе [4 – 6]. Отличительные этапы метода их кодирования заключаются в следующем:

- 1) позиционные числа строятся на базе неравномерных диагоналей трансформанты;
- 2) основания элементов диагоналей определяются как значения динамических диапазонов на основе неравномерно-диагонального метода выявления;
- 3) первая и последняя диагонали исключаются из базиса оснований НДП чисел и обрабатываются отдельно.

Кодирование диагональных неравномерных позиционных чисел организуется на основе следующих выражений:

$$\bar{E}'_{\xi, n_{\xi}} = \begin{cases} \sum_{\tau=0}^{n_{\xi}-1} y_{1+\tau, \xi-\tau} d_{\xi}^{n_{\xi}-\tau-1}, & \rightarrow \xi \leq n; \\ \sum_{\tau=0}^{n_{\xi}-1} y_{\xi-n+1+\tau, n-\tau} d_{\xi}^{n_{\xi}-\tau-1}, & \rightarrow \xi \geq n+1, \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\bar{E}'_{\xi, n_{\xi}}$ – кодовое значение для ξ -го диагонального неравномерного позиционного числа; n – линейный размер трансформанты; n_{ξ} – длина для ξ -й диагонали трансформанты; $d_{\xi}^{n_{\xi}-\tau-1}$ – весовой коэффициент для τ -го элемента ξ -й диагонали трансформанты.

Оценка задержки на обработку базовых кадров видеопотока

Интенсивность видеопотока определяется не только количеством бит на сжатое представление потока кадров, но и временными задержками t на их обработку. Такие задержки входят в состав суммарного времени доставки видеопотока и, следовательно, влияют на основную характеристику эффективности функционирования инфокоммуникационных систем – оперативность доставки данных. Поскольку видеопоток представляет собой последовательность кадров различных типов, относительно обработки которых предъявляются различные требования, то временные задержки в потоке будут распределяться неравномерно. На обработку кадров Р-типа и В-типа требуется затратить меньшее количество операций, чем для кадров I-типа. Это обусловлено следующими причинами:

- 1) сокращением количества компонент цветоразностных цветовых составляющих в макроблоках;

2) увеличением количества отбрасываемых компонент трансформант, соответствующих высокочастотной составляющей спектра.

Наоборот, для базовых кадров существует необходимость обеспечения высокого качества реконструкции. Это требует проводить их обработку с сохранением максимальной информации. Поэтому время обработки будет распределено по кадрам видеопотока неравномерно.

Рассмотрим суммарную временную задержку $t_{\text{GOP}}^{(r)}$ для группы кадров. Для стандартизированной технологии обработки время $t_{\text{GOP}}^{(r)}$ оценивается как:

$$t_{\text{GOP}}^{(r)} = t_I + t_P + t_B,$$

где t_I, t_P, t_B – временные задержки на обработку соответственно кадров I-типа, P-типа и B-типа.

Величина $t_{\text{GOP}}^{(r)}$ при обработке базового кадра созданного метода на основе диагонально-неравномерного позиционного (ДНП) кодирования оценивается по формуле

$$t_{\text{GOP}}^{(r)} = t'_I + t_P + t_B,$$

где t'_I – временные задержки на обработку кадров I-типа на основе разработанного метода с использованием ДНП кодирования.

Соответственно для оценки временной составляющей t'_I необходимо оценить количество q'_I операций на обработку кадра I-типа.

Для разработанного метода первый этап связан с выполнением двумерного дискретного косинусного преобразования фрагмента базового кадра размером $n \times n$ элементов. Это требует выполнения $n^2 \log_2 n^2$ операций умножения и $n^2 \log_2 n^2$ операций сложения.

Второй этап состоит в квантизации трансформанты ДКП. Здесь затрачивается n^2 операций деления.

Последующие этапы связаны с проведением диагонально-неравномерного позиционного кодирования квантизированных трансформант.

Такой процесс обработки трансформанты раскладывается на следующие составляющие:

1. Построение неравновесного неравномерно-диагонального позиционного базиса D' оснований, на что требуется затратить $(n^2 - 2)$ операций сравнения.

2. Формирование кодового значения $\bar{E}'_{\xi, n_\xi}$ для диагоналей $\bar{Y}^{(\xi)}$ трансформанты. Здесь на определение кодового значения $\bar{E}'_{\xi, n_\xi}$ для ξ -й диагонали требуется выполнить следующее количество операций:

- $(n_\xi - 1)$ -ую операцию умножения для определения весовых коэффициентов $d_\xi^{n_\xi - \tau - 1}$;
- $(n_\xi - 1)$ -ую операцию сложения для вычисления слагаемых кодового выражения (1).

Всего на всю трансформанту необходимо будет затра-

тить количество операций, равное: $\sum_{\xi=2}^{n^2-2} (n_\xi - 1) = n^2 - 2$

операций сложения и $(n^2 - 2)$ операций умножения.

3. Образование кодограмм V_ξ для кодовых значений диагоналей требует дополнительного выполнения $(2n - 3)$ операций умножения и $(2n - 3)$ операций для определения количества разрядов кодограмм.

Суммарное количество операций по типам на выполнение ДНП кодирования трансформант представлено в табл. 1.

Последний этап обработки трансформанты связан с табличным кодированием низкочастотной DC-компоненты. Построение статистического кодового описания для DC компоненты связано с такими затратами количества типовых операций:

- на вычисление значения разности необходимо затратить одну операцию вычитания;
- на формирование основного кода необходимо выполнить одну операцию сравнения со стандартными кодами для низкочастотных компонент, хранящихся в специальных таблицах;

Таблица 1
Количество типовых операций на ДНП кодирование трансформанты

Вид операции	Сравнения	Умножения/деления	Сложение/вычитание
Построение базиса оснований	$(n^2 - 2)$	-	-
Формирование кодовых значений для всех диагоналей трансформанты	-	$(n^2 - 2)$	$(n^2 - 2)$
Кодообразование	-	$(2n - 3)$	-
Всего	$(n^2 - 2)$	$(n^2 + 2n - 5)$	$(n^2 - 2)$

– на определение дополнительного кода, при условии отрицательного значения разности соседних DC-компонент, необходимо затратить одну операцию вычитания.

Отсюда суммарное количество типовых операций, которые необходимо затратить на статистическую обработку DC-компоненты, будет включать *две операции вычитания и одну операцию сравнения*.

Суммарные количества типовых операций, необходимые на обработку фрагмента базового кадра, приведены в табл. 2.

Количество q'_1 операций с учетом их типов, которое необходимо затратить на обработку всего базового кадра на основе разработанного метода, представлено в табл. 3.

Здесь учитывается, что количество фрагментов для базового кадра, размером $M \times N$ элементов будет равно $(M \times N / n^2)$.

Анализ данных в табл. 3 позволяет заключить следующее:

а) сложность алгоритмической реализации разработанного метода сжатия базовых кадров находится в линейной зависимости от размеров кадра, $M \times N$;

б) основное количество операций, т.е. основная сложность алгоритмической реализации, приходится на выполнение двумерного косинусного преобразования. Так, для $n=8$ удельные затраты количества операций на трансформирование достигают 80 %;

в) количество операций типа умножение/деление не превышают 50 % от общего количества операций на обработку;

г) количество операций для созданного метода на основе ДПП кодирования трансформант относительно технологии JPEG₁, использующей статические таблицы кодов, будет меньше в среднем на 10 %.

Количество основных операций для сжатия изображения на основании существующих методов в форматах JPEG₂ и JPEG2000 приведено в табл. 4 и 5. Для случая JPEG размер сегмента равен n^2 .

Данные, представленные в табл. 3 – 5, позволяют сравнить сложность алгоритмической реализации по количеству типовых операций для разработанного метода кодирования базовых кадров относительно стандартизированных технологий на JPEG-платформе.

В случае обработки базовых кадров, насыщенных деталями и сценами в режиме обеспечения высокого качества их реконструкции на основе созданного метода с использованием ДНП кодирования трансформант, выявлено, что относительно технологии JPEG₂, обеспечивается сокращение:

– количества типовых операций произведения минимум на 53 %;

– количества типовых операций сложения/вычитания минимум на 75%.

При этом в отличие от стандартизированных JPEG технологий обработки базовых кадров для разработанного метода все выполняемые операции являются целочисленными. В этом случае временная задержка дополнительно будет сокращаться на 20 %.

В то же время для стандартизированных технологий обработки базовых кадров, как показывают эксперименты, выполняются соотношения затрат количества

Таблица 2

Суммарное количество операций на обработку фрагмента базового кадра на основе ДНП кодирования трансформант

Вид операции	Сравнения	Умножения/деления	Сложение/вычитание
Выполнение двумерного ДКП		$n^2 \log_2 n^2$	$n^2 \log_2 n^2$
Коррекция компонент трансформант в соответствии со стратегией квантизации		n^2	
Диагонально-неравномерное позиционное кодирование в неравновесном базисе оснований	$(n^2 - 2)$	$(n^2 + 2n - 5)$	$(n^2 - 2)$
Кодирование DC-компоненты	1	2	
Всего	$n^2 - 1$	$n^2 \log_2 n^2 + 2n^2 + (2n - 3)$	$n^2 \log_2 n^2 + (n^2 - 2)$

Таблица 3

Количество операций затрачиваемых для всего базового кадра с использованием разработанного метода

Вид операции	Сравнения	Произведения	Деления	Сложения/вычитания
Количество операций	$M N$	$M N \log_2 n^2 + M N + \frac{M N (2n - 3)}{n^2}$	$M N$	$M N \log_2 n^2 + M N$

Таблица 4

Количество операций для метода JPEG2000

Вид операции	Сдвиг	Сложение/вычитания	Произведение	Деление
Смена цветовой модели	$M \times N$	$4M \times N$	$M \times N$	-
Вейвлет преобразование	$M \times N$	$4M \times N$	-	$M \times N$
Арифметическое кодирование	-	$12M \times N$	$6M \times N$	$12M \times N$
Всего	$M \times N$	$20M \times N$	$7M \times N$	$13M \times N$

Таблица 5

Количество операций для метода JPEG₂

Метод сжатия	Количество операций сложения/вычитания	Тип операций	Количество операций произведения/деления	Тип операций
Блок $M \times N$	$2M \times N \log_2 n^2$	Вещественный	$2M \times N \log_2 n^2$	Вещественный
	$12M \times N$	Целочисленный	-	-
Всего	$2M \times N \log_2 n^2 + 12M \times N$	Смешанный	$2M \times N \log_2 n^2$	Вещественный

операций на обработку для разных типов кадров, что показано в табл. 6.

В табл. 6 приняты такие обозначения: $q_I : q_P = 1 : 3$; $q_I : q_B = 1 : 5$ – означает, что количество операций, затрачиваемое на обработку базового кадра, соотносится с количеством операций, приходящимся на обработку соответственно трех кадров Р-типа и пяти кадров В-типа.

Например, для режима 1, соответствующего высокому качеству базового кадра, выполняются уровни ПОСШ: I-кадр – 42 дБ, Р-кадр – 28 дБ, В-кадр. Здесь получим следующее соотношение для оценки суммарного количества $q_{GOP}^{(r)}$ операций на группу кадров:

$$q_{GOP}^{(r)} = q_I + 2q_P + 5q_B = q_I + 2 \frac{1}{3} q_I + 5 \frac{1}{5} q_I = \frac{8q_I}{3}.$$

Тогда для режима 1 в случае использования созданного метода для обработки базового кадра суммарное количество $q'_{GOP}^{(r)}$ операций на группу кадров будет равно

$$q'_{GOP}^{(r)} = q'_I + 2q'_P + 5q'_B = \frac{q_I}{2} + 2 \frac{1}{3} \cdot \frac{q_I}{2} + 5 \frac{1}{5} \cdot \frac{q_I}{2} = \frac{8q_I}{6}.$$

Отсюда можно заключить, что суммарное количество операций за счет использования для обработки базового кадра созданного метода относительно стандартизированных технологий сократится на 50 %.

Аналогичным образом получим оценки для других показательных режимов:

- режим 2, хорошее качество базового кадра: I-кадр – 40 дБ, Р-кадр – 28 дБ, В-кадр – на 38 %;

- режим 2, достаточное качество базового кадра: I-кадр – 38 дБ, Р-кадр – 28 дБ, В-кадр – на 50 %.

Можно утверждать, что в среднем количество операций на обработку видеопотока на основе сжатия базового кадра путем диагонально-неравномерного позиционного кодирования трансформант относительно стандартизированных технологий обработки кадров сокращается в среднем на 45 %.

С другой стороны, сокращение количества операций создает возможность повысить качество предоставляемых видеотелекоммуникационных сервисов, а именно:

1) увеличить размер кадров, например, с формата 4CIF на формат кадра HD, или от формата кадра HD на формат FullHD;

2) повысить разрядность элементов изображений с 8 бит/элемент на 16 бит/элемент;

3) увеличить частоту с 25 кадров/с на 50 кадров/с.

Таблица 6

Зависимость соотношения количества операций q_I , q_P , q_B от ПОСШ

Тип кадра	h, дБ				
I-кадр	42	40	40	40	38
Р-кадр	28	28	30	32	28
В-кадр	22	22	24	24	22
$q_I : q_P$	1 : 3	1 : 2,5	1 : 2	1 : 2	1 : 2
$q_I : q_B$	1 : 5	1 : 4	1 : 3,5	1 : 3,5	1 : 4
$q'_I : q_P$	1 : 1,5	1 : 1,5	1 : 1	1 : 1	1 : 1
$q'_I : q_B$	1 : 2,5	1 : 2,5	1 : 1,7	1 : 1,7	1 : 2

Выводы

1. Построен метод оценки алгоритмической сложности по количеству типовых операций для метода обработки базовых кадров на основе диагонально-неравномерного позиционного кодирования трансформант в неравновесном базисе оснований. Особенность созданной технологии с позиции алгоритмической реализации заключается в том, что диагонали имеют неравномерную длину, количество разрядов на кодограммы выбираются по диагонально-неравномерному принципу.

2. Сложность алгоритмической реализации разработанного метода сжатия базовых кадров находится в линейной зависимости от размера кадра, и в основном определяется количеством операций на выполнение двумерного косинусного преобразования. Для $n=8$ удельные затраты количества операций на трансформирование достигают 80 %. Количество операций типа умножение/деление не превышает 50 % от общего количества операций на обработку.

3. Сравнительная оценка показала, что количество операций для созданного метода на основе ДПН кодирования трансформант относительно технологии JPEG₁, использующей статические таблицы кодов, будет меньше в среднем на 10 %; относительно технологии JPEG₂ достигается: сокращение количества типовых операций произведения минимум на 53 %, а количества типовых операций сложения/вычитания - минимум на 75%.

Литература: 1. Осипов Л.А. Обработка сигналов на цифровых процессорах / Л.А. Осипов. М.: Горячая линия – Телеком, 2001. 112 с. 2. Синепол В.С. Системы компьютерной видеоконференцсвязи / В.С. Синепол, И.А. Цикин.

М.: ООО “Мобильные коммуникации”, 1999. 166 с. 3. Фисенко В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебн. пособие / В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с. 4. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук и др. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. 352 с. 5. Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. Х.: ХУПС, 2010. 234 с. 6. Баранник В.В. Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. Х.: ХУПС, 2009. 252 с.

Поступила в редколлегию 15.09.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры боевого применения и эксплуатации АСУ Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

Отман Шади О.Ю., аспирант кафедры Сети Связи ХНУРЭ. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, пр. Ленина, 14.

Стасев Сергей Юрьевич, аспирант ХНУРЭ. Научные интересы: технологии кодирования и обеспечения информационной безопасности государства. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79. Email: Barannik_V_V@mail.ru.

Мусиенко Александр Павлович, адъюнкт ХУВС. Научные интересы: технологии кодирования и обеспечения информационной безопасности государства. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79. Email: Barannik_V_V@mail.ru